



Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Electrotecnia y Computación

Maestría en Energías Renovables

Trabajo investigativo sometido a la consideración del Tribunal examinador del Programa de Maestría en Energías Renovables para optar al grado de Maestro en Energías Renovables.

Título: Propuesta de aplicación de instrumentos económicos para la internalización de costos ambientales en la Generadora Eléctrica de Occidente-GEOSA.

NOMBRE DEL CANDIDATO:

Ingeniero: Roxana Salgado

TUTORA:

PhD. Wadaed Uturbey

Este trabajo fue aceptado por el Tribunal examinador:

Dr: Leonel plazaola Prado - Presidente

MSc. Norman Vargas - Vocal

MSc. Sandro Chavarría – Secretario

Fecha de aprobación:

22 de octubre del 2014

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi pequeño hijo que es mi más grande fuente de energía para el logro de mis propósitos, a mi mama por ser mi ejemplo vivo de que con esfuerzo y empeño se alcanza todo objetivo planteado, a mi esposo por su gran capacidad de comprensión y apoyo incondicional, a mis amigos y colaboradores que me compartieron sus conocimientos para poder llevar a término con éxito y satisfacción el trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Por medio de estas líneas quiero agradecer en primer lugar a Dios, por la salud y la fortaleza que me otorgo a lo largo de la realización de este trabajo. Especial agradecimiento a mi tutora y a mi familia por el tiempo y el apoyo que me dieron y a todas aquellas personas que dedicaron parte de su tiempo para aportar ideas e información para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

INDICE

ABSTRACT.....	6
RESUMEN.....	8
INTRODUCCION	10
JUSTIFICACION.....	12
OBJETIVOS.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
DESCRIPCION DEL PROCESO DE GENERACION DE ENERGIA DE GEOSA.	16
ANÁLISIS DE INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN AMBIENTAL	17
Métodos de valoración ambiental.....	21
METODOLOGÍA VÍAS DE IMPACTO (impact pathway).....	26
1. Caracterización de la fuente emisora.....	27
2. Dispersión de los contaminantes y cálculo de concentraciones.....	27
3. Evaluación de los impactos	28
4. Evaluación Monetaria.....	29
5. Incertidumbres	30
METODOLOGIA	31
Aplicación de metodología de ciclo de vida para el cálculo de externalidades	32
RESULTADOS.....	39
DISCUSIÓN.....	42
RECOMENDACIONES.....	46
CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFIA.....	50
ANEXOS.....	52

ABSTRACT

The present research is focused mainly on presenting a financial mechanism through which they can internalize environmental costs generated by activities of Nicaragua Plant, this plant has some importance within the National Interconnected System (SIN) whereas 2000 to 2012 it gave 15% of the electricity required by the INS. This study was based on the calculation analysis of environmental externalities in this by discriminating the types and amount of environmental pollutant gases emitted by the plant during the build process, specifically taking into account those that harm human health product inhalation of particulates that are released into the atmosphere and the impacts of climate change caused by the concentration of greenhouse gases, environmental externalities generate costs, even the same day are not being paid by those who are produced.

The above assessment of the above, environmental impacts was conducted using the methodology of pathway impact (impact pathways), for which the incorporation of planning generating plant was necessary, and the collection of technical data and calculations was obtained resulted in the generation of electricity, produced 446,980.14 tons of greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) per year, associated with a cost of 25.26US\$/tn for CO₂ likewise it could be verified that by controlling the air-fuel mixture is performed at the entrance of the boiler plant relating to the particulate material Nicaragua units released to the environment is low.

Environmental costs were accounted for 124.34US\$/MWH, this indicates that the internalization of environmental costs represent an increase of 39.18% in the retail price of energy GEOSA.

The above results can be used as reference for discussions on the effects of environmental externalities associated with the production of electricity from thermoelectric plants using fossil fuels, as it provides elements that must begin to be considered in the planning and development of generation electricity, ie the results of this study provide sufficient data that support decision making in development planning at the national energy matrix.

Furthermore, this paper presents a series of recommendations as to the continuity of the installation of the power plant technology in question, based on an analysis of the reality of the national grid and also made a very brief analysis of the current legislation around environmental regulation, in order to present the needs in the country's legislative change to encourage further promoted the installation of plants with renewable sources, this because in some countries and there are certain legislative efforts focused on internalizing environmental costs, while in our country still do not initiate discussions and consultations about this topic.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enfocado básicamente en presentar un mecanismo económico por medio del cual se puedan internalizar los costos ambientales producidos por la actividad de la Planta Nicaragua, esta planta tiene cierta importancia dentro del Sistema Interconectado Nacional (SIN) considerando que del año 2000 al 2012 entregó el 15% de la electricidad requerida por el SIN. Este estudio tuvo como base de análisis el cálculo de las externalidades ambientales discriminando en este los tipos y la cantidad de gases contaminantes del medio ambiente emitidos por la planta durante el proceso de generación, tomando en cuenta específicamente aquellos que perjudican la salud humana producto de la inhalación de materiales particulados que han sido liberados a la atmósfera y los impactos en el cambio climático causados por la concentración de gases de efecto invernadero, las externalidades ambientales generan costos, mismos que hasta el día de hoy no están siendo pagados por quienes son producidos.

La referida valoración de los impactos ambientales antes indicados, se realizó por medio de la metodología del impact pathway (vías de impacto), para lo cual se hizo necesaria la incorporación de la planificación de generación de la planta, así como la recopilación de datos técnicos y de los cálculos realizados se obtuvo como resultado que la actividad de generación de energía eléctrica, produce 446,980.14 toneladas de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) al año, asociado a un costo de 25.26US\$/tn para el CO₂, así mismo se pudo verificar que debido al control de la mezcla de combustible aire que se realiza en la entrada de la caldera de las unidades correspondientes a planta Nicaragua el material particulado liberado al medio ambiente es bajo.

Los costos ambientales fueron contabilizados en 124.34US\$/MWH, esto indica que la internalización de los costos ambientales representaría un incremento del 39.18% en el precio de venta de energía GEOSA.

Los resultados anteriores pueden ser usados como referencia en materia de discusiones sobre los efectos de las externalidades ambientales asociada a la producción de electricidad con unidades termoeléctricas que usan combustibles fósiles, dado que proporciona elementos que deben empezar a considerarse en la planificación y desarrollo de la generación de electricidad, es decir que los resultados de este trabajo aportan datos suficientes que sirven de apoyo en la toma de decisión ante la planificación del desarrollo de la matriz energética nacional.

Por otro lado, este documento presenta una serie de recomendaciones en cuanto a la continuidad en la instalación de la tecnología de la central eléctrica en cuestión, basándose en un análisis realizado a la realidad del Sistema Interconectado Nacional, así como también se hace un muy breve análisis de la legislación actual alrededor de la regulación ambiental, a fin de presentar las necesidades en el cambio legislativo del país para fomentar mayor promoción a la instalación de plantas con fuentes renovables, esto porque en algunos países ya existen ciertos esfuerzos legislativos enfocados en internalizar los costos ambientales, mientras en nuestro país aún no inician las discusiones y consultas alrededor de este tema.

INTRODUCCION

El Sector Eléctrico Nicaragüense, está constituido por un sistema básicamente termoeléctrico, mismo que en la última década ha venido siendo reemplazado mayoritariamente, por otros emprendimientos térmicos convencionales, aunque actualmente se han desarrollado otros proyectos eólicos e hidroeléctricos.

De la misma manera, la Matriz de Generación Eléctrica Nicaragüense, hasta el 2012 estaba considerada no renovable, pues se calcula que el 69%¹ de la capacidad instalada de generación estaba sustentada sobre la base de combustibles fósiles, o sea fuentes contaminantes. Se prevé que esta característica será modificada en el mediano plazo, pasando la generación hidroeléctrica, eólica y geotérmica a tener una mayor participación en el abastecimiento de la demanda del país, sin embargo la realidad actual está reflejando que la transformación de la matriz se está orientando básicamente a la instalación de centrales eólicas, lo cual por las regulaciones nacionales está dejando en una situación delicada la seguridad operativa del sistema considerando que la tecnología de los aerogeneradores instalados aporta mucha energía reactiva a las ya debilitadas líneas de transmisión del SIN, en este sentido es evidente que la transformación de la matriz energética del país se ha estado realizando de forma desproporcional, considerando que el crecimiento de las centrales eólicas a la fecha es tal que el sistema requiere de la instalación de centrales capaces de respaldar la energía entregada a la red comercial por las centrales eólicas.

La diversificación de dicha matriz es un proceso esencial para reducir la vulnerabilidad del sistema ante la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles y garantizar la seguridad de la oferta de energía eléctrica sin detrimento de la seguridad operativa del sistema. Por ejemplo, al elaborarse los planes de evolución del sector eléctrico, es preciso tomar en consideración los riesgos ambientales asociados al proceso de generación de

¹ www.INE.gob.ni, Estadísticas 2002-2012

energía, debiéndosele dar la importancia exigida por este último caso, actualmente se observa cierta modificación en la política del gobierno a través de la creación y promulgación de la ley de Promoción de las Fuentes Renovables, sin embargo se requieren de leyes y reglamentos más completas, es decir más específicas, dado que las existentes requieren refuerzos.

Los escenarios de expansión de los últimos planes indicativos de expansión de energía indican un deseo de evolución y diversificación de la capacidad instalada de la matriz de generación nacional basada en fuentes renovables. Sin embargo, entre el 2006 y el 2008 las inversiones en plantas de generación de electricidad estuvieron basadas en fuentes contaminantes, intensivas en emisión de material particulado y de gases de efecto invernadero, ocasionando diversos riesgos ambientales (Plan Indicativo 2005-2017, Ministerio de Energía y Minas, 2005).

En relación a los impactos ambientales más importantes, se destaca que según la declaración del Intergubernamental Panel on Climate Change, (IPCC), nunca ocurrió un aumento tan rápido de la temperatura del planeta como en los últimos 100 años y esa elevada tasa de crecimiento está asociada directamente a las actividades humanas intensivas en emisión de gases de efecto invernadero. Más allá de los cambios climáticos mencionados, otro grave problema ambiental relacionado a la generación de energía eléctrica es la emisión de micro-partículas que provocan efectos nocivos en la salud humana. La emisión de micro-partículas y sus consecuencias tanto en el medio ambiente como en la salud humana evidencian el importante papel de las fuentes de energías renovables para el desenvolvimiento de un futuro energético más sustentable y la necesidad de contar con instrumentos de evaluación que permitan tomar las decisiones más acertadas en relación a la selección de las tecnologías a ser instaladas ya fueran estas con fuentes renovables o convencionales.

JUSTIFICACION

Conforme a las proyecciones de demanda de energía y oferta del sistema eléctrico nacional elaboradas por el Ministerio de Energía y Minas es notorio que en los últimos años la demanda ha presentado un crecimiento de al menos un 5% anual, con lo que la oferta efectiva hasta mediados del 2007 se había quedado un poco rezagada, producto de lo cual desde el 2007 hasta la fecha se han desarrollado una serie de proyectos energéticos a fin de abastecer la demanda total de SIN. (CNE, 2005).

Considerando la imperiosa necesidad en la instalación de centrales eléctricas, que respondan a la satisfacción de uno de los servicios básicos que marcan el desarrollo de la economía de una nación, el gobierno de Nicaragua ha realizado esfuerzos para solventar dicha situación; sin embargo, producto de una serie de factores (limitado financiamiento, urgente necesidad de abastecer la demanda local), dichos esfuerzos inicialmente estuvieron dirigidos básicamente a la instalación de centrales de combustibles fósiles según se observa en la cantidad de capacidad instalada desde el año 2001 hasta el año 2011 que es mucho mayor que la capacidad instalada de fuentes de energía renovables (INE,2013). Con la instalación de plantas térmicas en base a combustibles fósiles ciertamente se resuelve solo una parte del problema, a expensas de volver más dependiente la matriz de generación de energía, por cuanto las afectaciones negativas sobre la economía nacional son más apreciables debido al alza del precio de los combustibles empleados en la generación de energía eléctrica, obligándose entonces el gobierno a incrementar los subsidios tarifarios, a fin de amortiguar los embates del incremento en el precio del KWH consumido en los bloques de consumidores más vulnerables. No obstante, la proliferación de fuentes de generación en base a derivados del petróleo incrementa otros efectos intangibles como son la contaminación del medio ambiente a través de la emisión a la atmosfera de gases de efecto invernadero y el deterioro de la salud de la población.

En ese sentido, este trabajo pretende entre otros aspectos, demostrar que las centrales de generación con combustibles renovables en Nicaragua tienen ventajas sobre la instalación de centrales con fuentes fósiles dado que en la valoración de sus costos de generación no se incluyen los costos de los impactos ambientales que provocan. Por el contrario las plantas térmicas que emplean derivados del petróleo reciben apoyo para financiar los proyectos de inversión; evidenciando con ello, la necesidad de una política energética que dote de incentivos más fuertes a los proyectos con fuentes de energías renovables, a los ya reconocidos, para lograr un incremento significativo de su participación en la matriz de generación eléctrica del país. Todo ello para alcanzar un desarrollo energético verdaderamente sostenible.

Por otro lado, los datos resultantes de este estudio servirán como base futura, para la valoración en la toma de decisiones, ante solicitudes de licencias o concesiones de generación, datos que ayudaran a discernir cuál de las opciones planteadas (centrales convencionales o centrales con fuentes renovables) es la más conveniente para el desarrollo sostenible del país, dado que hoy en día los estudios para la instalación de centrales termoeléctricas convencionales, no considera a fondo el deterioro ambiental que la operación de estas conlleva, producto de lo cual, aun cuando el país tiene un potencial de más 4,000MW en fuentes renovables, únicamente se explota aproximadamente el 5% de este². Por cuanto este estudio, centra su interés principal en analizar las distintas metodologías para el cálculo de los costos ambientales de la generación eléctrica producida por la planta Nicaragua; siendo esta una de las más representativas del sistema, misma que servirá de referencia para las demás centrales de procesos productivos similares. Este análisis conlleva la selección del instrumento económico más adecuado para tal efecto, metodología que ayudará en la toma de decisiones ante la selección de la tecnología más adecuada a instalarse en el país, promoviendo con ello las fuentes

² Ministerio de Energía y Minas, Guía del Inversionista, 2010

renovables y cuidado del entorno ambiental donde se ubican las centrales térmicas convencionales, aunque este último dependerá en gran medida de la calidad del trabajo que desarrollen las autoridades locales.

El propósito de esta tesis es de encontrar un instrumento económico que facilite la internalización de los costos ambientales de la planta de generación termoeléctrica convencional denominada Planta Nicaragua de manera que las externalidades sean integradas como parte del costo de generación de esta planta y no sean solamente considerados los costos financieros y de operación como tradicionalmente se realiza.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar el instrumento económico más adecuado para la internalización de los costos ambientales de la planta de generación termoeléctrica convencional denominada Planta Nicaragua.

Objetivos específicos

- i. Estudiar los impactos ambientales producidos por la generación de la Planta Nicaragua, la cual utiliza como materia prima de generación el fuel oíl No 6.

Los impactos ambientales valorados en este trabajo serán:

Impactos en la salud humana provocados por la inhalación de material particulado liberados en la atmosfera durante el proceso de generación de energía eléctrica.

Impactos de los cambios climáticos provocados por la concentración de gases de efecto invernadero liberado a la atmosfera durante el proceso de generación de energía eléctrica.

- ii. Analizar los diversos instrumentos económicos usados en las tomas de decisiones relativas a los precios de venta de la energía.
- iii. Estudiar el comportamiento de generación de Planta Nicaragua con la finalidad de calcular su costo ambiental anual.
- iv. Cuantificar de forma unitaria en US\$/KWH los impactos ambientales identificados en el proceso de generación de la Planta Nicaragua.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE GENERACION DE ENERGIA DE GEOSA

La Planta Nicaragua está ubicada en la costa del pacífico de Nicaragua, en un área aproximada de 11 hectáreas, junto a Puerto Sandino, a 75 Km de la capital Managua, sus operaciones iniciaron en 1975 con una unidad de 53MW, un año después se instaló una segunda unidad de igual potencia, su capacidad instalada total es de 103MW y la efectiva de 100MW, ambas se componen de unidades monobloques (caldera-turbogenerador) que giran a 3,600RPM usando el ciclo termodinámico de Rankine. El proceso de producción de energía eléctrica inicia con la osmosis inversa del agua extraída del mar a una presión de 3kg/cm^2 la cual es bombeada a las calderas. En las calderas, la llama y los gases de combustión fluyen por la parte exterior por medio de tuberías y el agua es vaporizada por la combustión. La combustión del fuel oíl No 6 se realiza a una presión de 42kg/cm^2 y es el resultado de la actividad de dos quemadores (primario y secundario) que trabajan a unos 1600°C ; en este proceso, se producen emisiones de NO_x térmicos, el uso de dos quemadores es para reducir las temperaturas de trabajo respecto a las habituales a fin de reducir las emisiones de NO_x térmicos, los cuales junto a las cenizas (no se tienen sistema de captura de cenizas en las calderas) producidas son transportados hacia las chimeneas de unos 36m.s.n.s para ser liberados al medio ambiente.

El vapor producido en la primera etapa es sobrecalentado produciendo vapor seco, este se inyecta a las turbinas a una presión 88kg/cm^2 y a una temperatura de 510°C ; a la salida de las turbinas la temperatura del vapor desciende a 47°C y la presión a 0.0774kg/cm^2 . El vapor que sale de la turbina es trasladado a los condensadores para posteriormente ser enviado de retorno al mar a una temperatura aproximada de 36°C a través de la tubería de desfogue. Finalmente, la energía mecánica producida en la turbina se convierte en energía eléctrica por medio del generador e inyectada a la red comercial.

ANÁLISIS DE INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN AMBIENTAL

Como toda actividad industrial la generación de electricidad produce efectos colaterales en el medio ambiente como la emisión de CO₂, O₂, N₂ y CO, así como SO_x (producto del azufre contenido en el combustible) y NO_x (por la reacción del nitrógeno con el oxígeno a altas temperaturas en la cámara de combustión o por la oxidación del nitrógeno contenido en la molécula del combustible). También se tiene la presencia de partículas como nieblas, cenizas, hollín o hidrocarburos parcialmente degradados producto de una mala combustión (NMHC), sin olvidar que las tuberías en estas unidades están recubiertas con aislamientos que contienen asbesto, ACM, el cual ante una continua exposición puede provocar cáncer de pulmón (Jaén, 2008).

Otro de los impactos ambientales de la generación de electricidad identificados es el gradiente de temperatura del agua que retorna al mar, el que oscila entre los 2 y 4°C y la acidificación de las aguas del río que desemboca al mar, producto de la descarga del agua usada en los procesos de limpieza de la planta. Igualmente, se identifica como impacto ambiental el PCB (Policloruro de Binilo) contenido en los transformadores de potencia y los desechos industriales usados en los mantenimientos realizados a la central, sin desestimar como impacto ambiental el nivel de ruido emitido por la operación de la central y los desechos de la limpieza de los tanques de almacenamiento de combustibles; sin embargo estos últimos son transportados por una empresa especializada en la materia para su debido tratamiento (Jaén, 2008).

A pesar de ser bien conocido que la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles produce costos ocultos como la degradación del medio ambiente y de la salud humana a consecuencia de los impactos ambientales antes indicados, estos aun no son incorporados en los costos de producción de este tipo de centrales; es decir a los

precios del mercado, distorsionando las decisiones óptimas en cuanto a diversificación de las matrices energéticas de generación. Actualmente los costos de las externalidades de la generación de energía eléctrica en base a combustibles fósiles están siendo pagados por quienes no los producen, para corregir este defecto existen una serie de mecanismos económicos capaces de imputar los costos ambientales a quien corresponde, mismos que serán abordados posteriormente en este escrito.

Los mecanismos de internalización de los costos ambientales se clasifican en dos: directos e indirectos. Los métodos de análisis económico para la valoración del medio tratan de descubrir la importancia concedida por las personas al provecho de la naturaleza. No obstante, la mayoría de los llamados bienes naturales que ofrece el medio carecen de valor de mercado y las personas no revelan explícitamente la utilidad que para ellas representan estos bienes; por lo tanto deben implementarse métodos que descubran el valor asignado por las personas a los bienes ambientales. Los métodos de valoración de la economía ambiental tratan de analizar el hecho de que determinados bienes o servicios ambientales se combinan con otros bienes corrientes para producir servicios o bienes más elaborados; es a partir de esta relación de bienes que se trata de analizar como las personas revelan la valoración ambiental estudiando el comportamiento del mercado relación de bienes con los que están relacionados lo que se conoce como preferencia revelada (Azqueta, 2007).

Por otro lado, los métodos de valoración se pueden clasificar en directos e indirectos. Los métodos indirectos de valoración ambiental se basan en la preferencia revelada de los usuarios de bienes o servicios ambientales. Los medios directos se basan en preferencias declaradas de las personas hacia el uso de bienes y servicios ambientales y tratan de obtener el costo de los recursos ambientales por medio de mercados hipotéticos o bienes complementarios, a través de estos se mide la disponibilidad de pago de los individuos por los bienes y servicios ambientales, en otras palabras estos presentan una situación que

aún no se ha dado. Los métodos indirectos son usados ante variación en la producción o consumo de un bien o servicio privado que modifica la variación en la cantidad y calidad de los bienes y servicios ambientales, es decir relacionan el impacto ambiental producido por la fuente con los precios del mercado.

En economía ambiental se pueden identificar cuatro métodos de valoración económica los cuales son: el método de los costos evitados o inducidos, el método del costo de viaje, el método de los precios hedónicos y el método de la valoración contingente, los tres primeros son conocidos como métodos directos y el último como indirecto. Debido a la dificultad de distribución de los valores correspondientes de los bienes y servicios ambientales para individuos y grupos de personas, se considera el cálculo del valor económico total, mismo que está compuesto por: el valor de uso y de no uso, el primero es una combinación de los valores de uso directo, indirecto y de opción y el segundo contiene el valor de existencia (Cristeche y Penna, 2008).

Para estimar las externalidades, cuantificar los impactos y estimar costos existen varios enfoques de los cuales se debe seleccionar el que mejor se adapta a las características del estudio en particular. Los enfoques son: enfoque cualitativo, de pesado y graduación, costo del control, adiciones de por cientos, análisis multicriterio usando trade-off, enfoque de función de daño y enfoque de monetización. El enfoque cualitativo aborda los impactos medioambientales de las opciones de generación, sin especificar ningún mecanismo cuantitativo o de contabilidad. El enfoque de pesado y graduación consiste en aplicar a las externalidades identificadas puntos relativos, los impactos se miden según su importancia y pueden graduarse con una categoría de impacto de manera tal que, sea posible obtener una puntuación para luego relacionarse a un valor monetario (Turtós, 2003).

Asimismo, el enfoque de costo del control evalúa los costos en términos monetarios impuesto por regulaciones gubernamentales para controlar las emisiones u otros

contaminantes, expresando este impuesto la voluntad de la sociedad de pagar para evitar los daños y es por tanto, una medida de estos daños. En este mismo sentido, el enfoque de adiciones de por cientos consiste en adicionar un porcentaje fijo predeterminado al costo evitado de una fuente determinada; la cantidad a ser agregada puede ser definida por ley o puede estimarse del costo del control de los daños. El enfoque de monetización valora las externalidades expresándola en términos de US\$/ton de emisiones o en US\$/KWh de electricidad; de manera que, los valores representan los costos impuestos a la sociedad por las emisiones residuales que superan los umbrales establecidos por ley, de manera que estos valores puedan usarse para ajustar el precio de la energía producida (Turtós, 2003).

También, el análisis multicriterio usando trade-off analiza el balance entre costos y beneficios de formas de generación de energías diferentes, partiendo de la identificación de alternativas y el desarrollo de atributos o criterios para medir el impacto de estas alternativas; asumiéndose como una valoración explícita de la voluntad de la sociedad a pagar para reducir el riesgo medioambiental. Igualmente, el enfoque de función de daño, que es parte de la metodología de ciclo de vida, cuyo proceso incluye la identificación de los impactos y su cuantificación, y valoración de los impactos cuantificados para obtener un costo o valor de impacto total (Ídem).

Métodos de valoración ambiental

Inicialmente se analizarán los componentes del valor económico total:

- 1.1 Valor de uso:** es el valor de los servicios del ecosistema, empleados por el hombre con fines de consumo y producción.
 - 1.1.1 Valor de uso directo: se usa en los bienes y servicios del ecosistema usados de forma directa (producción de alimentos, medicinas, etc).
 - 1.1.2 Valor de uso indirecto: asociado a los servicios ambientales derivados de las funciones de soporte de los ecosistemas, que se usan para la producción de bienes y servicios finales (filtración natural del agua, secuestro de carbono).
 - 1.1.3 Valor de opción: es el valor de preservar la oportunidad de usar los bienes y servicios para el futuro.
- 1.2 Valor de no uso o de existencia:** es el placer que experimentan las personas, tras decidir no usar durante toda su vida el servicio ambiental existente (visitas a espacios naturales inhóspitos).

Debido a que el valor de uso es observable su cálculo es relativamente fácil en comparación al de no uso, su estimación se puede realizar con diversos enfoques, como: los costos inducidos y los métodos de: precios hedónicos, el costo de viaje y valoración contingente, los valores de uso indirecto se pueden calcular por los métodos de costos inducidos y valoración de contingente, sin embargo el valor de no uso solo puede calcularse por medio de la metodología hipotética o contingente.

Descripción de los diversos instrumentos de valoración ambiental:

Método de costos de reposición

Este método consiste en calcular los costos necesarios para reponer a su estado original los activos afectados negativamente por un cambio en la calidad ambiental de un recurso natural o ambiental. Es decir, los costos de reposición indicaran el esfuerzo necesario para recuperar el valor integral de un bien que se ha perdido, la actividad responsable del daño genero una pérdida de valor económico que se podrá medir usando el costo de las inversiones necesarias para subsanar las afectaciones.

Método basado en la función de producción

En este método el bien ambiental a valorar forma parte de una función de producción; es decir se establece una relación de sustituibilidad entre determinados bienes ambientales y algunos bienes privados que tienen precio de mercado; a la persona o entidad afectada se le permite reaccionar libremente ante el cambio producido en el bien natural (combinación preferida de atributos ambientales). Al realizar el proceso de evaluación se observan los resultados de los afectados ante cambios en el bien natural en cuestión.

La función de producción se puede entender considerando como ejemplo el cambio que se produce en la capacidad de un recurso natural para seguir desempeñando sus funciones, lo que se puede aproximar calculando el valor presente de los servicios perdidos por los involucrados afectados. Así mismo, se puede estimar el rendimiento de una actividad productiva, bajo ciertas condiciones ambientales, y comparar este rendimiento con el obtenido cuando hay una afectación ambiental, la diferencia en los rendimientos representaría el deterioro o pérdida de bienestar por el uso de un bien natural. El proceso de evaluación se complementa con el empleo de una función dosis-respuesta que vincula el nivel de una variable de estudio (la respuesta) con el que tiene una variable ambiental (dosis) para obtener el valor buscado.

La valoración por medio de función de dosis-respuesta tiene aplicación en la valoración de impactos sobre la salud de las personas de actividades productivas a través de un método de costo de tratamiento. En este sentido, se puede implementar una estimación del costo del tratamiento a realizar por estar expuesto ante la influencia negativa de algún tipo de contaminación de una actividad productiva específica. También, en este proceso de valoración se puede estimar la función de producción de salud que recoge la combinación de insumos propios, públicos o privados para tratar una afectación a la salud de algún tipo de contaminación.

El método del costo de viaje

Este método se utiliza para valorar los servicios recreativos que proporciona la naturaleza cuando la persona tiene que trasladarse a un entorno particular para disfrutarlo. A pesar de que aparentemente el disfrute de los espacios naturales muchas veces no es restringido, ni se paga por ello, en la realidad el uso de estos bienes no es gratuito debido a que para acceder a ellos es necesario realizar una serie de gastos como los costos de viaje, hospedaje y desplazamiento. De manera que estimando los gastos para el disfrute de los bienes naturales y aproximando la demanda de estos bienes y servicios se puede analizar los cambios en el bienestar de las personas ante una afectación, así como la incidencia de las variables más relevantes para explicar su comportamiento de tipo socioeconómico.

El método de los precios Hedónicos

Muchos bienes no tienen un único valor de uso, sino que son bienes multiatributo o sea satisfacen varias necesidades al mismo tiempo o la misma necesidad de forma diferente, en este sentido el método de los precios hedónicos intenta descubrir todos los atributos de un bien que expliquen su precio e indagar la importancia cualitativa de cada uno de ellos.

El método directo de valoración contingente

Los métodos anteriormente estudiados se basan en una relación entre bienes ambientales y bienes privados, sean estas relaciones de complementariedad o de sustituibilidad; cuando estas relaciones no existen se deben aplicar métodos directos como es el caso de recursos ambientales que tienen un valor de no uso y cuando existe un descubrimiento de valores basados en el reconocimiento explícito de un derecho previo sobre el activo natural objeto de la valoración.

El método de valoración contingente intenta averiguar la valoración que otorgan las personas a un determinado recurso ambiental preguntándosele directamente. Es el único método en el cual las personas declaran sus preferencias en relación a un servicio o bien ambiental, por lo cual es el único que calcula el Valor Económico Total (VET) de un bien o servicio ambiental (Bickkel y Rainer ,2005).

Cuadro comparativo de los métodos de valoración ambiental		
Método	Análisis	Observación
Costos de reposición	Este método no permite a los afectados en el proceso a elegir su combinación preferida de atributos ambientales y bienes privados. Cada bien está constituido por sus propias características que los diferencia y explica su valoración en forma de precio	Si el mercado no ofrece posibilidad de que cada persona logre una combinación exacta de preferencia los costos de reposición de un bien podrán ser precisados de forma sesgada
Función de producción	Para este método es necesario estimar la función dosis-respuesta para cuantificar los impactos	Este método se auxilia con el método de costo de tratamiento y la función de producción para valorar la afectación a las personas debido a una actividad productiva que impacta negativamente al ambiente. Por lo tanto, este método es adecuado para internalizar las afectaciones a la salud que provoca la generación de energía eléctrica en plantas que utilizan derivados del petróleo en el proceso de conversión de energía.
Método del costo de viaje	En este método las visitas se registran como un promedio al año y no son especificadas en cuanto a su duración, se tendría que especificar la duración de las visitas y estimar diferentes funciones de demanda en función de la duración de la visita	Este método tiene varias variables que afectan los resultados por haber tantos supuestos a considerar como las duraciones de las visitas
Método de los precios Hedónicos	Estima el costo de un bien natural en función de sus diferentes atributos	La solución a encontrar el precio de un bien en función de varios atributos se torna en un problema no muy fácil de resolver y se necesita el auxilio de la estadística.
valoración contingente	Se realiza una consulta directa sobre la valoración de un bien ambiental a los afectados	Requiere un gran esfuerzo de recopilación de información a través de encuestas.

Cuadro: elaboración propia, contiene resumen de los métodos de valoración ambiental indicados en Bickel y Rainer ,2005

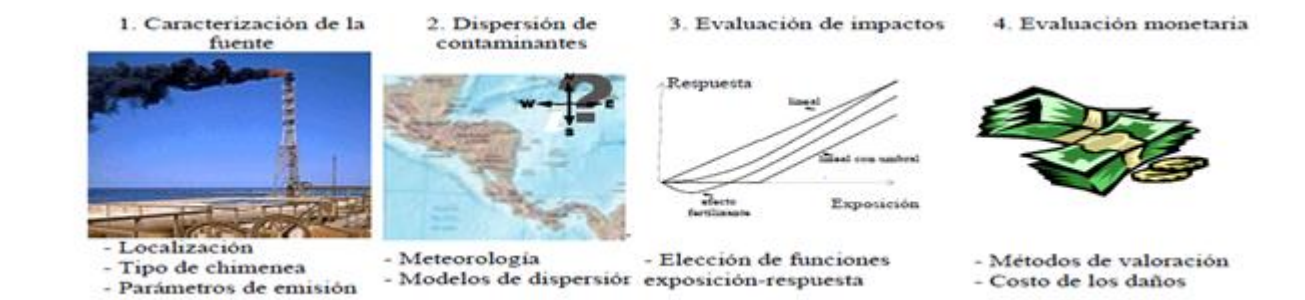
A simple vista es apreciable que cada uno de estos métodos presentan ciertas restricciones para la elaboración del presente trabajo ya sea porque requieren de la inversión de grandes cantidades de tiempo y dinero, así como el requerimiento de una gran cantidad de información para su aplicación, razón por la cual se recurrió a la utilización de la metodología del Impact pathway (vías de impacto), por medio de la cual haciendo uso de una serie de datos (proceso de generación de la central eléctrica) se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero y los materiales particulados producidos por la generación de energía eléctrica, así como el costo de tales efectos ambientales.

METODOLOGÍA VÍAS DE IMPACTO (impact pathway)

La metodología de vías de impacto (IPA, por sus siglas en inglés) se usa para cuantificar los impactos ambientales definidos en este, las etapas principales se agrupan en (Bickkel y Rainer ,2005):

- Emisión o fuente: en esta se identifican las tecnologías y su contaminación (identifica la cantidad de un contaminante específico por cada MWH generado en una central térmica ubicada en un sitio específico, por ejemplo).
- Dispersión: en esta etapa se calcula el incremento de las concentraciones de los contaminantes en las zonas afectadas.
- Impacto: referida al cálculo de la exposición acumulada al incremento de las concentraciones de contaminantes, pudiendo calcular con ello los daños producto de las exposiciones, los daños se expresan en unidades físicas, usando la función exposición-respuesta.
- Costos: se cuantifican los impactos calculados en la etapa anterior en términos monetarios

Figura No.1 Etapas de implementación de la metodología vías de impacto



Fuente: Bickkel y Rainer, 2005, esta figura describe en rasgos generales las 4 etapas de implementación de la metodología del ciclo de vida.

1. Caracterización de la fuente emisora

Esta inicia con la recolección de la información relativa a la fuente de emisión de los gases de efecto invernadero como son: ubicación (urbana, rural), coordenadas, características físicas, estadísticas de los tipos de gases y material particulado producidos por la actividad de la fuente de emisión, para nuestro caso se refiere a los datos técnicos y de proceso de Planta Nicaragua, es decir se debe conocer, el diámetro y altura de la chimenea, la temperatura, velocidad y flujo de los gases de escape y el volumen de las emisiones.

2. Dispersión de los contaminantes y cálculo de concentraciones

Si el estudio se refiere a un área local este puede realizarse en un radio de 50km alrededor de la fuente de emisión, pero cuando sea de escala regional se ejecuta en miles de kilómetros, el empleo del modelo de transporte de los contaminantes dependerá de la escala del análisis, para una escala local los modelos a considerar serian: la velocidad y dirección del viento, la temperatura del ambiente, la clase de estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla, estos análisis se apoyan de los modelos gaussianos que estiman los niveles de concentración de los contaminantes primarios emitidos por las fuentes a través de chimeneas (Spadaro, 1999). Este modelo básicamente considera que una vez emitido el contaminante tanto la concentración vertical como horizontal es representada por dos distribuciones gaussianas independientes, caracterizadas por su propia desviación estándar (Octaviano Claudia, 2011).

En el cálculo de los contaminantes secundarios se requiere conocer de: datos meteorológicos (promedios estadísticos de velocidades y dirección del viento, tasa de precipitación anual) y concentraciones de fondo de especies existentes en el aire, incluyendo los contaminantes primarios a fin de simular las transformaciones químicas (SO_x, NO_x, Compuestos Orgánicos Volátiles-COV, amoníaco-NH₃ y el ozono-O₃)

3. Evaluación de los impactos

3.1 función exposición –respuesta

En esta etapa se relaciona la cantidad del contaminante al que el receptor ha estado expuesto con los efectos identificados en este, (conociendo los contaminantes es posible calcular los impactos sobre la salud usando las funciones exposición-respuesta) usando estudios clínicos o epidemiológicos, que relacionan un síntoma en la salud producido por la exposición a un determinado contaminante en términos de su concentración (ejemplo, incremento en el número de hospitalizaciones). Sin embargo se considera que el punto de partida debería de ser la dosis acogida por el receptor y no la concentración del contaminante, porque la dosis está en función de la calidad del aire y de variables como: el tiempo de exposición, la relación de concentración dentro y fuera de recintos cerrados, el nivel de actividad física, la composición del aire contaminado, la dimensión, la distribución de especies y la cercanía a la fuente de contaminación, pero por el nivel de detalle requerido se emplea la concentración en lugar de la dosis como variable independiente.

Dentro de los principales efectos adversos a la salud humana producidos por los contaminantes atmosféricos se encuentran: disminución del flujo de aire en las vías respiratorias, deterioro del rendimiento físico hasta en personas sanas, irritación de las mucosas oculares y del tracto respiratorio superior, disminución de las defensas en el aparato respiratorio, deterioro de la función pulmonar en niños y personas sanas, aumento de las crisis en pacientes asmáticos y de angina en pacientes de cardiopatía isquémica, incremento de la prevalencia y síntomas de enfermedades como la bronquitis crónica, así como el incremento de la incidencia de cáncer pulmonar (aun en personas no fumadoras o con exposición ocupacional), (CEPAL, 2004).

En relación a los ecosistemas se pueden identificar la contaminación a: la vegetación, al reducir la fotosíntesis y la contribución a la acidificación del suelo (por pérdidas de la

agricultura) y del agua (reducción de los recursos pesqueros), sin olvidar las pérdidas económicas producto de: la corrosión de los metales, deterioro de cables eléctricos, del papel, textiles, pinturas, materiales de construcción y monumentos históricos, sin embargo se han detectado la reducción en el uso de fertilizantes en algunas cosechas agrícolas como resultado de la exposición al incremento en las concentraciones de SO_x y NO_x, beneficios que están en dependencia de los niveles de la concentración de fondo (IDEM).

Algunos estudios realizados en relación a los efectos de la contaminación de la atmosfera en seres humanos, han verificado la existencia de la relación causa-efecto, entre el incremento de la concentración de un contaminante específico y el número de casos reportados en unidades de salud, otros estudios han demostrado la relación entre la exposición de varios años a partículas en el aire y la tasa de mortalidad total. Las funciones exposición-respuesta se estipulan por lo general para grupos en riesgo como: niños mayores de 14 años, adultos mayores a 65 años y pacientes asmáticos, estas al ser aplicadas en la salud humana se consideran lineales, usando la concentración como parámetro independiente, es decir que no hay un valor límite de concentración por debajo del cual el impacto en la salud humana desaparece.

3.2 Cálculo de los impactos

De acuerdo a los expertos en salud pública los niveles de contaminación ambiental actuales del aire agrava la morbilidad (enfermedades respiratorias y cardiovasculares) y conduce a la mortalidad prematura, siendo los responsables de estas la identificación de partículas en el aire, el contaminante identificado como promotor de los impactos directos sobre la salud ha sido el SO₂ y el NO_x aunque con menor certeza que el anterior. (Spadaro, 1999).

4. Evaluación Monetaria

En la determinación de los costos unitarios por morbilidad se pueden usar 3 enfoques: costos directos asociados a la enfermedad, gastos preventivos y valoración contingente.

Este último intuye el costo de cualquier gasto para prevenir, mitigar o tratar los efectos de la enfermedad, el valor del tiempo perdido por ésta y el valor del bienestar o utilidad perdidos por dolor y sufrimiento.

Los costos directos de una enfermedad se refieren al costo de atención médica, cuyo valor estará dado por el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad, los cuales están determinados por el tipo de servicio disponible en la localidad, el costo del tiempo perdido o productividad, usando para identificar el costo del mercado (costo de medicamento, salario).

5. Incertidumbres

Debido a la insuficiencia en la disponibilidad y conocimiento de la información requerida por la metodología se presentan una serie de incertidumbre dentro de las que se pueden mencionar

- Incertidumbre en los datos
- Incertidumbre en los modelos de simulación de la dispersión atmosférica y la transformación química
- Incertidumbre debido al proceso de selección de variables políticas o éticas (variación de edad, etc)
- Incertidumbre acerca del futuro (tratamiento de enfermedades)
- Idiosincrasia del analista (errores humanos)

Algunos expertos en la materia sostienen que la incertidumbre en la evaluación de los costos externos es grande, llegando a alcanzar valores de desviación geométrica entre 3 y 5, es decir que el valor resultante podría ser de 3 a 5 veces mayor o menor en relación al real, este valor en los contaminantes primarios (PM10, SO2 y NOx) se estima en 3, pero para los secundarios este valor es superior (sobre todo en el ozono)³

³ Idéntico al anterior

METODOLOGIA

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se requirió en primera instancia indagar a detalle el proceso de producción de energía que ocurre en la Planta Generadora de Occidente, comúnmente conocida como Planta Nicaragua. Una vez conocidos los detalles del proceso se identificaron los impactos ambientales en los que este incurre de la lista obtenida en esta etapa, se procedió a elegir para el estudio de caso los impactos que resulten en degradación de la salud humana y el cambio climático, posteriormente estos impactos fueron simulados a través de la metodología impact pathway a fin de dilucidar la cantidad de contaminantes emitidos por la generación de esta planta y el costo unitario de estos por KWH producido.

Finalmente, con la información antes mencionada se brindan las recomendaciones al caso, mismas que se apoyan de instrumentos económicos capaces de solucionar monetariamente en parte el daño causado por las emisiones de gases de efecto invernadero y material particulado que son liberados al medio ambiente con el proceso de producción de energía de la planta. En otras palabras el diseño de este trabajo de investigación corresponde a un estudio de caso, dado que se está tomando solo una de las 23 plantas térmicas convencionales conectadas al sistema eléctrico nacional para conocer cuáles son las consecuencias negativas sobre la salud humana y el medio ambiente en su área de influencia.

Para la recolección de los datos en cuanto al proceso de generación y la identificación de los gases de efecto invernadero y material particulado liberados al ambiente por la actividad de esta, se realizaron visitas a la planta de generación. Además, se recopilaron documentos y datos emitidos por instituciones públicas como el instituto Nicaragüense de la Energía (INE), Ministerio de Energía y Minas y otros organismos del sector eléctrico de Nicaragua, resúmenes de estudios realizados por la Comisión Económica para América

Latina y entrevistas con expertos en el tema, por cuanto se puede afirmar que la información recabada cuenta con validez, puesto que los datos son oficiales.

Los impactos ambientales de la generación de energía eléctrica de la planta GEOSA serán simulados con la metodología impact pathway contenida en el software GEMIS.

Es importante destacar la reproductividad de este trabajo de investigación sobre todas las demás plantas térmicas conectadas al Sistema Interconectado Nacional, siempre y cuando pueda obtenerse la información requerida, en otras palabras este estudio de caso es solo un ejemplo que puede desarrollarse con mucha facilidad, dado que la mayoría de la información requerida está disponible ya sea que esta provenga de fuentes primarias o secundarias, así mismo el programa de simulación utilizado puede ser de dominio público, pues muchos de los softwares que contienen la metodología del impact pathway son gratuitos y muy funcionales para el fin perseguido, sin dejar de mencionar que los resultados obtenidos con este trabajo de investigación servirán de referencia para las autoridades en la toma de decisiones ante solicitudes de integración al Sistema Interconectado Nacional de proyecto de generación eléctrica.

Aplicación de metodología de ciclo de vida para el cálculo de externalidades

Para la aplicación del método de ciclo de vida en el cálculo de externalidades provocadas por la generación de energía eléctrica en base a combustible derivado del petróleo de la planta GEOSA se empleó el programa informático Global Emission Model for Integrated Systems-GEMIS. Este programa puede realizar cálculos usando el Método del Ciclo de Vida (MCV) para una variedad de emisiones, determinando el uso de los recursos; así como es posible analizar los costos ambientales del uso de combustibles fósiles en procesos de generación de energía (Fritsche y Schmidt, 2008).

EL IINAS (International Institute for Sustainability Analysis and Strategy) es el anfitrión de GEMIS, que es un dominio público de la metodología de ciclo de vida, GEMIS consta de una base de datos y de un modelo de análisis para determinar la energía y los flujos de materiales (incluyendo transporte), este modelo de análisis calcula los procesos y los escenarios de los llamados ciclos de vida, es decir, tiene en cuenta todos los procesos, desde la extracción de recursos (energía primaria, materias primas) a la energía final o el uso de materiales. GEMIS también incluye la energía auxiliar y el empleo de materiales para procesos productivos, así como materiales para la generación de la energía y sistemas de transporte (IINAS, 2012).

GEMIS permite evaluar los resultados de los análisis ambientales y los costos de externalidades por agregación de las emisiones en los llamados equivalentes de CO₂, equivalentes de SO₂. El programa GEMIS tiene su propia base de datos que ofrece información sobre los portadores de energía (cadenas de procesos y datos de combustible) así como tecnologías diferentes para la generación de calor y energía eléctrica.

El método de ciclo de vida que es la base del programa GEMIS incluye los cálculos pertinentes de actividades físico-químicas que están conectadas con el suministro de energía como un servicio o un producto; se consideran también, todos los medios de transporte pertinentes, así como la producción de materiales y productos auxiliares que se debe considerar en el proceso de generación de energía eléctrica. De modo que, GEMIS calcula los impactos ambientales de la prestación de servicio de un portador de energía dentro de un proceso de transformación de energía. Es importante considerar que, también las energías auxiliares y los procesos de conversión pueden causar efectos ambientales como: los efectos indirectos resultantes parcialmente a partir de bucles y otras cadenas de proceso productivos que deben ser considerados en el cálculo de externalidades usando el método del ciclo de vida, mismos que son considerados también por GEMIS.

Finalmente, el análisis de impactos con el MCV involucra el estudio de los flujos de energía, también los flujos de materiales; así como las conexiones entre ambos en un proceso de conversión de energía, de extracción, transporte, etc. Todos los procesos de conversión de energía tienen impactos ambientales específicos y se debe prestar atención en relación con las cadenas de transformación de la materia lo que se puede analizar con GEMIS.

Datos y resultados de metodología de ciclo de vida para el cálculo de externalidades producto de contaminación liberada en la atmósfera durante el proceso de generación de energía eléctrica de GEOSA

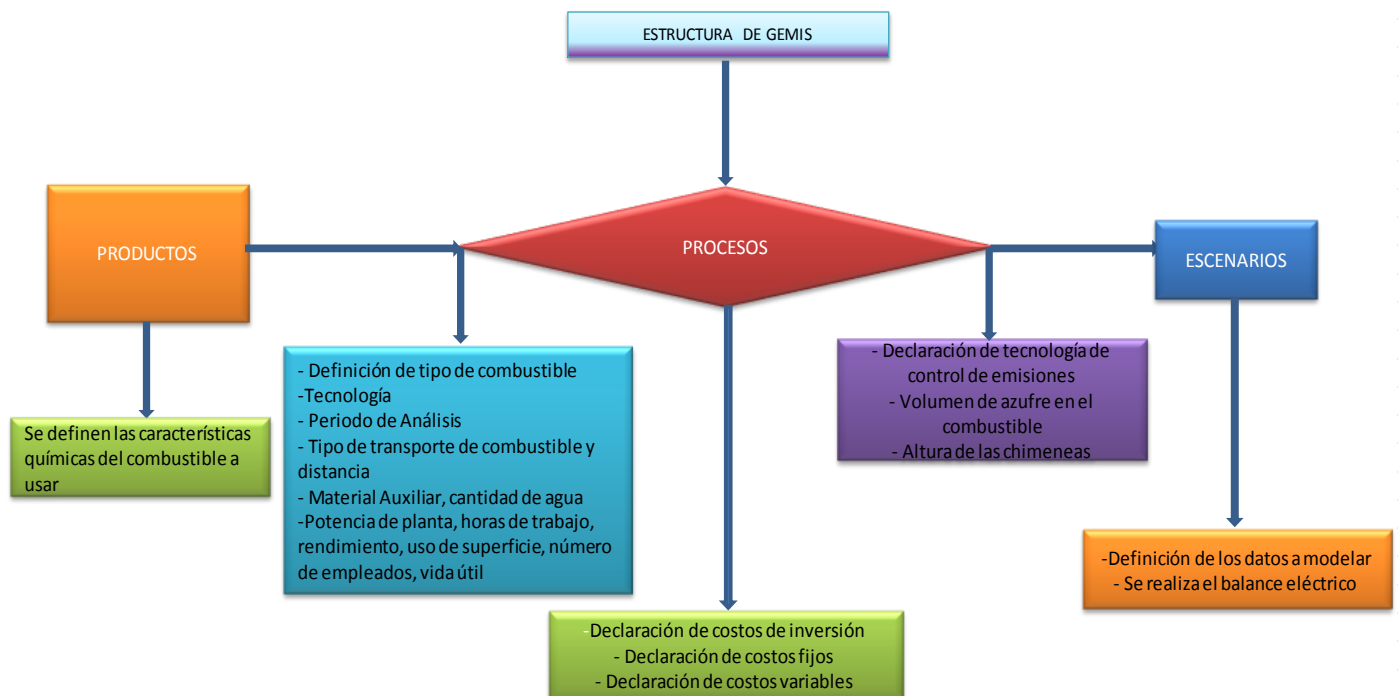
Para el proceso de análisis GEMIS se trabaja con:

- Datos sobre la energía generada en el período de estudio
- Las emisiones directas al ambiente (SO₂, NO_x, halógenos, partículas, CO, COVNM, H₂S, NH₃) gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O y SF₆ y CFC) residuos sólidos (cenizas, residuos, lodos FGD tratamiento de aguas residuales, desechos de producción, escombros) efluentes líquidos (AOX, DBO 5, DQO, N, P, sales inorgánica) y uso de la tierra.

GEMIS analiza los costos de externalidades que se desprenden de los datos respectivos de los combustibles, la energía y los procesos de transporte (inversión, O & M) que son parte de su base de datos. Los resultados de GEMIS son los flujos ambientales dados anteriormente y los valores agregados de recursos como la demanda de energía acumulada (CED), gases de efecto invernadero equivalentes de CO₂, emisiones a la atmósfera en forma de SO₂ equivalentes (potencial de acidificación) y equivalentes precursoras del ozono (smog de verano), y costos ambientales externos. Todos los resultados se pueden desglosar en las contribuciones de cada proceso y agregados sectoriales o regionales en los subtotales.

Para el caso de estudio de este trabajo de investigación se utilizaron los datos de entrada y salida del proceso de generación de energía eléctrica de GEOSA, es decir el tipo de combustible usado y el medio en que es transportado este, el rendimiento de la planta, las horas de trabajo anual, el tipo de central y sus características, el capital invertido, los gastos fijos y variables de la central, el número de personas que labora en la planta y el área que ocupa la central.

A continuación se detalla la estructura de GEMIS



Fuente: Elaboración propia

Internalización de costos ambientales

El software GEMIS presenta tanto las cantidades de contaminantes emitidas al medio ambiente producto del proceso de generación, como los costos de estos contaminantes, estos costos son también conocidos como costos externos o simplemente externalidades, las cuales surgen cuando las actividades sociales y económicas de un grupo de personas impactan sobre otro grupo y ese impacto no es compensado. Existiendo varias formas de

considerar las externalidades para el medio ambiente y la salud humana: una de estas formas es internalizar dichos costos; de manera que, se incluya en el precio final del bien o servicio las afectaciones ambientales, otra es a través de los impuestos ecológicos, es decir, gravando los combustibles y tecnologías perjudiciales de acuerdo con los costos externos provocados. Agregando a lo anterior, otra forma de considerar las externalidades es fomentar o subvencionar tecnologías menos contaminantes implementando el análisis de los costos marginales y los costos evitados a la hora de decidir qué proyectos implementar (European Commission, 2006).

Hasta el momento en ningún país el costo de las externalidades se incorpora al precio final de la electricidad por el efecto económico que generaría y por la complejidad de su estimación. No obstante, para estimar las externalidades de la generación de energía eléctrica en base a combustibles fósiles existe la metodología de ciclo de vida, la cual ya fue ampliamente planteada.

A nivel centroamericano, se estimaron las externalidades de la generación de energía eléctrica en base de combustibles fósiles empleando la versión simplificada de la metodología de ciclo de vida del proyecto ExternE de la Unión Europea, así como el modelo Simplificado para estimar impactos de la generación de electricidad (SIMPACTS) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en un estudio, en el cual, se seleccionaron 25 centrales de generación térmica en Costa Rica, El Salvador, Honduras, Guatemala, Nicaragua y Panamá. Pero, el análisis se limitó a considerar efectos en la salud de las emisiones de partículas de SO_2 y NO_x y para estimar el impacto en la salud se examinaron los valores de Incremento de Riesgo Relativo (IRR) e información sobre los costos de morbilidad y mortalidad obtenida de datos de meta-análisis provenientes de estudios realizados en México, debido a la escasez de información primaria en las naciones centroamericanas y por los costos de generar dicha información para este estudio (Octaviano, 2011).

En el referido estudio se incluyó el impacto del cambio climático, calculado mediante un precio de referencia de 20 dólares por tonelada de CO₂. Finalmente, como resultado de la evaluación de externalidades, su internalización en el precio de la electricidad implicaría aumentos de entre 0,09 y 0,27 centavos de dólar por kWh, es decir, entre 1.83% y 5.35% del costo del kWh; este valor incrementaría a 0.87 y 2.32 centavos de dólar por kWh si se incluye el impacto del cambio climático usando como precio de referencia 20 US\$ por cada tonelada de CO₂, las externalidades ambientales incrementarían el costo de los planes de generación entre 8% y 10.6%, considerando los impactos globales del cambio climático y los locales y regionales en la salud (Octaviano, 2011).

Basado en lo anterior en este trabajo de investigación se usó el enfoque de monetización a fin valorizar las externalidades en términos de US\$/kWh, conociendo que los costos de generación comúnmente se dividen en dos partes; una de costos fijos en la que se incluyen los costos asociados a la inversión y los costos de operación y mantenimiento fijos para mantener disponible la unidad genere o no esta y el costo variable el cual incluye el costo de operación y mantenimiento asociado a la cantidad de energía producida. Para el caso de GEOSA se utiliza la metodología antes descrita, dado que este generador actualmente realiza el 95% de sus transacciones en el mercado local de contratos y los cargos remunerados a este son por energía y potencia, actualmente el pago por capacidad está valorado en 215.977US\$/MW-Día, en tanto su costo variable se calcula tal como lo establece la siguiente fórmula:

$$CV = ((PC + \text{premium} / 42) / \eta) * 1000 + O\&M$$

Dónde:

- PC: es el precio medio mensual del bunker C con 3% de azufre (99.30US\$/Bbl en promedio para el 2012)
- Premium: es el precio por transportar combustible a la planta, actualmente en 6.9US\$/Bbl
- 42: cantidad de galones contenidos en un barril
- η : es el rendimiento de cada una de las unidades (U1: 12.69 y U2: 12.27Kwh/galón)
- O&M: es el cargo por operación y mantenimiento, actualmente en 1.8US\$/MWH

$$CV = (((99.30\text{US}\$/\text{Bbl} + 6.9\text{US}\$/\text{Bbl}) / 42) / 12.27\text{Kwh/gn}) * 1000 + 1.8\text{US}\$/\text{MWH} = 204.47\text{US}\$/\text{MWH}$$

Bajo estas consideraciones ahora ya es posible internalizar los costos ambientales producidos por el proceso de generación de esta central, directamente en su fórmula de formación de precio de venta de la energía, para este trabajo se decidió incorporar como un cargo fijo que se sumaría a la fórmula de manera similar al cargo por O&M, por cuanto de manera directa estaría incrementando el precio de venta de toda aquella central térmica convencional que incorpore a sus costos operativos las externalidades, debido a que esto será trasladado al consumidor final y siendo que no es este el que lo produce, o en su defecto debe ser un costo compartido, se propone como contraparte crear un impuesto por contaminación ambiental, mismo que representaría un porcentaje de la energía producida y el cual se pagaría a la municipalidad local, a fin de que este sea invertido en programas de reforestación de la zona y adquisición de medicinas para atender las enfermedades más comunes a los centros de salud locales.

RESULTADOS

Resultados de cálculo de emisión de GEI de la planta de generación de energía GEOSA

En el caso de la planta GEOSA que usa un derivado de petróleo en su proceso de generación energética, empleando la herramienta GEMIS se plantea un proceso de conversión de energía de combustible fósil a energía eléctrica:

El escenario planteado es la generación de energía eléctrica en base a combustible fósil, al simular las condiciones de generación neta la planta GEOSA emite los siguientes gases de efecto invernadero:

Cuadro No.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Opción [tn]	Equivalente en CO2	CO2	CH4	N2O
GEOSA	447,697.99	446,955.19	24.51	0.43

Adicionalmente a esto GEOSA tiene un resultado de emisiones aéreas de:

Cuadro No.2: Emisiones de Aéreas

Opción [tn]	Equivalente TOPP	Equivalente en SO2	SO2	NOx	HCl	HF	Partículas	CO	NM VOC	H2S	NH3
GEOSA	108.71	7,080.64	7,049.04	44.78	0.07	0.01	68.83	26.27	50.85	0.00	0.18

Se conoció que el proceso de generación produce también residuos sólidos como:

Cuadro No.3: Residuos Sólidos

Opción [tn]	Ceniza	Residuo de DGC	Espuma de aguas residuales	Residuos de producción	Recubierto	Combustible de residuos nucleares
GEOSA	467.74	395.13	85.94	225.21	6,946.17	0.01

En cuanto al daño en la salud humana el software indica que anualmente se afecta a un número de personas que se indica en la tabla:

Cuadro No.4: Efectos sobre el Empleo

Opción [Personas / año]	efectos directos sobre el empleo	Efectos de inversión, empleos	Efectos sobre el empleo Costes fijos	Efectos sobre el empleo Costes variables	Efectos totales sobre el empleo
GEOSA	71.42	13.44	502.86	1,227.67	1,815.39

Propuesta de aplicación de instrumentos económicos para la internalización de costos ambientales en la Generadora Eléctrica de Occidente-GEOSA.

En relación a la cuantificación de costos de los gases de efecto invernadero para este trabajo se tomaron como referencia : 25.26US\$/tn para el CO₂, 702.22US\$/tn para el SO₂ y 1,273.96 US\$/tn para el NO_x y el material particulado liberado tiene un valor de 1,242.86US\$/tn, costos que en su conjunto producen una total de 51,310,914.55 US\$ al año, mismo que para energizarlo se divide entre la energía generada por la central, es decir 412,660.00MWH, conociendo que el costo de internalización seria de 124.34US\$/MWH generado, este es el costo que se debe integrar al precio final de venta de la central.

Cuadro No.5: Costos Externos

Opción [US\$]	Costes internos	Costes externos	Costes internos + externos	costes de inversión
GEOSA	1,489,269,240.80	51,310,914.55	1,540,580,152.20	44,107,150.00

Cuadro No.6: Tabla Resumen

TABLA DE RESULTADOS DE LOS IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES PRODUCIDOS POR LA GENERACION DE GEOSA											
Produccion de Gases de Efecto Invernadero											
Opción [tn]	Equivalente en CO2	CO2	CH4	N2O							
GEOSA	447,697.99	446,955.19	24.51	0.43							
Producción de residuos sólidos											
Opción [tn]	Ceniza	Residuo de DGC	Espuma de aguas residuales	Residuos de producción	Recubierto	waste-nuclear fuel					
GEOSA	467.74	395.13	85.94	225.21	6,946.17	0.01					
Emisiones Aereas											
Opción [tn]	Equivalente-TOPP	Equivalente en SO2	SO2	NOx	HCl	HF	Partículas	CO	NMVOC	H2S	NH3
GEOSA	108.71	7,080.64	7,049.04	44.78	0.07	0.01	68.83	26.27	50.85	-	0.18
Tabla de Costos											
Opción [US\$]	Costes internos	Costes externos	Costes internos + externos	costes de inversión							
GEOSA	1,489,269,240.80	51,310,914.55	1,540,580,152.20	44,107,150.00							
Efecto sobre el empleo											
Opción [Persona/año]	efectos directos sobre el empleo	Efectos de inversión - empleo	Costes fijos de los efectos sobre el empleo	Costes variables de los efectos sobre el empleo	Efectos totales sobre el empleo						
GEOSA	71.42	13.44	502.86	1,227.67	1,815.39						

En anexos se encuentran detalles de los resultados aquí indicados, resultados obtenidos con GEMIS

Conociendo ya el valor del costo a internalizar se modifica la fórmula de costo variable de la central, es decir $CV = ((PC + \text{Premium} / 42) / \eta) * 1000 + O\&M + CI$, resultando el costo variable en 328.81US\$/MWH, es decir 0.32881US\$/KWH.

Finalmente es importante destacar que la metodología del Ciclo de Vida es la única capaz de medir y cuantificar los efectos ambientales producidos por la generación de energía en GEOSA, dado que en su evaluación considera todas las etapas involucradas en el proceso basándose en detalles únicos del proceso productivo de la central.

Por otro lado es evidente que la internalización de los costos ambientales en el precio de venta de la central de generación provoca pérdida en el mérito de despacho de la unidad, llegando incluso a alcanzar costos variables similares a los registrados en unidades térmicas que usan combustible diesel para su funcionamiento, siendo esto indicio que unidades como estas en un ambiente de costos ambientales internalizados no tendrían competencia en el mercado local.

La siguiente tabla comparativa muestra que los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son un poco superiores a los presentados en el estudio realizado por la CEPAL.

Cuadro No.7: Internalización de externalidades para GEOSA

Cuadro comparativo de la internalización del impacto ambiental en PNI		
Ítem	US\$	US\$/KWH
Estudio de la CEPAL	DN	0.11
Trabajo de Investigación	51,310,914.55	0.12434

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior puede corresponder al hecho de que en este estudio se caracterizó a la unidad en cuestión, es decir que se modeló conforme las características actuales de la central y no se hicieron inferencias sobre la misma, a diferencia del estudio referido.

DISCUSIÓN

A través del presente trabajo de investigación se alcanzaron los objetivos planteados, mismos que se enmarcaron en cuantificar los impactos ambientales consecuentes al proceso de generación de la central termoeléctrica llamada GEOSA, asimismo estos impactos ambientales fueron también cuantificados monetariamente e incorporados al precio de venta de energía de la central, por cuanto se logró demostrar el costo real de generación de esta unidad.

Considerando que estas externalidades actualmente no son contabilizadas ni por los desarrolladores de proyectos de generación de energía eléctrica, ni por las autoridades que generan los permisos y licencias necesarias para la ejecución de dichos proyectos, e incluso este tema no está concretamente valorado en el marco regulatorio del país, por lo cual se ha conquistado un logro importante dado que deja al descubierto los costos por impactos ambientales que se generan, por otro lado no se recomienda incorporarlos al precio de la energía en vista que este sería directamente trasladado a la tarifa del consumidor final, considerando que este finalmente resulta siendo afectado por los impactos negativos causados por la generación de la central sobre el medio ambiente, aunque en este trabajo se tenía el objetivo de calcularlo a fin de conocer los costos reales de producción, para de esta manera al momento de toma de decisiones de inversiones poder definir los costos reales de generación de cada tecnología sea que para el proceso de generación utilice fuentes renovables o derivados de combustibles fósiles.

La incorporación al precio de venta de las externalidades tal como fue mencionado anteriormente provoca pérdida de competitividad al menos en el mercado local, con implicancias de este mismo tipo en el mercado regional al considerar que su costo variable actualmente es uno de los más altos del mercado, sin embargo la señal de mercado que da esta incorporación es la correcta tanto a los desarrolladores como a las autoridades, a fin

de que la inversión en el sector generación se conduzca hacia la dirección adecuada, puesto que al final se estarán optimizando los recursos económicos del sector y por defecto del país, porque en cierta medida se requerirán menos fondos para la atención de enfermedades causadas por los impactos en la salud humana tanto para los trabajadores directos de la central como para los pobladores aledaños al área donde está situada la central, por otro lado se puede identificar con esta misma señal de mercado que la tecnología de esta central ya no presenta viabilidad para la instalación de más centrales como estas, requiriéndose de centrales modernas que provean al sistema de los mismos beneficios técnicos que las actuales, pero de costos operativos inferiores.

Dentro de las muchas bondades de los resultados de este trabajo de investigación destaca la replicabilidad del mismo, en vista de que el software utilizado es de libre acceso al público, además de ser bastante completo, porque se pueden modelar tanto centrales térmicas que usan combustibles convencionales como centrales con fuentes renovables, así mismo la incorporación de las externalidades a los costos de las centrales a nivel local no es una tarea muy complicada, porque en su mayoría se obtiene información de estos tanto en la Normativa de Operación y sus anexos, como en los sitios web del operador del mercado y del regulador del subsector energía, así como de las mismas centrales de generación.

Por otro lado este trabajo adquiere alta relevancia considerando que las políticas energéticas del país están enfocadas a la transformación de la matriz energética, reconversión que debe valorar las ventajas y desventajas de cualquier proyecto que sea presentado a las autoridades correspondientes, a fin de lograr los objetivos planteados, lo anterior considerando que a la fecha el Sistema Eléctrico Nicaragüense requiere respaldar la generación de energía de las centrales eólicas, debido a que las centrales térmicas convencionales más recientemente instaladas en el país no son suficientes, además de no prestar las condiciones técnicas necesarias para tal efecto, lo cual finalmente encarecerá

los costos operativos del sistema, por lo cual los resultados aquí planteados representan una poderosa herramienta capaz de aportar conocimientos hasta ahora no considerados a nivel nacional, mismos que de no ser abordados en la evaluación de proyectos energéticos se estaría obviando un punto de primer orden.

Los resultados del presente trabajo de investigación fueron contrapuestos con los resultados del estudio realizado por la CEPAL, el cual se denominó Análisis General de las Externalidades Ambientales Derivadas de la Utilización de Combustibles Fósiles en la Industria Eléctrica Centroamericana, encontrando diferencias entre ambos, diferencia que se debe básicamente a que en el estudio de la CEPAL los datos utilizados son estadísticos no de fuentes primarias como los de este trabajo de investigación, tal como lo refiere el mismo estudio, por otro lado en su estudio la CEPAL indica la capacidad instalada de GEOSA en 120MW, es decir que incluye la disponibilidad de Planta Chinandega, cuando esta última difiere en tecnología de combustión y tipo de combustible a las dos unidades de Planta Nicaragua, además la CEPAL indica que estimo los consumos de combustibles para cada planta, razones por las cuales ambos estudios son diferentes y por ende muestran resultados diferentes, por ejemplo el estudio de la CEPAL indica que el costo de SO₂ emitido por GEOSA es de 89US\$/Tn, mientras el presente estudio con datos primarios determino que este es de 702.22US\$/Tn, con lo antes indicado el presente trabajo adquiere mayor confiabilidad, puesto que los datos usados son de fuente primaria, por un lado y por otro se detallaron todas las características de generación

Por otro lado los resultados de esta investigación fueron también comparados con los resultados de la herramienta metodológica EXACT. EX-ACT, es un instrumento desarrollado por la FAO que realiza el balance de GEI y la captura de carbono utilizando principalmente las directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (Bernoux M; Tinlot M; Bockel L; Branca G; Gentien,2011). EX-ACT es un sistema de contabilidad que analiza diversos componentes del proyecto como

deforestación, degradación de bosques, cambios en el uso de tierra, emisiones de GEI y calcula las emisiones equivalentes en toneladas de CH₄, N₂O y CO₂ (en tCO₂-eq/ha y año), proporciona como salida un balance de emisiones de gases de efecto invernadero.

EX-ACT utiliza los valores predeterminados proporcionados por NGGI-IPCC-2006 en el cálculo de emisiones de CO₂, N₂O y CH₄, el enfoque genérico se estima multiplicando un factor de emisión para un determinado gas o categoría de fuente con la fecha de la actividad relacionada con la fuente de emisión. La estructura de la herramienta EX-ACT consiste en un conjunto de hojas de Microsoft Excel vinculadas en el que las inserciones de parámetros de diseño del proyecto como los datos básicos de cada proyecto bajo análisis. EX-ACT adopta un enfoque modular, donde cada módulo describe el uso específico de la tierra y sigue un marco lógico de tres pasos: descripción general del proyecto (características de la zona geográfica, el clima y el suelo, la duración del proyecto); identificación de los cambios de uso del suelo y las tecnologías previstas por los componentes del proyecto con módulos específicos (deforestación, la degradación forestal, la forestación/reforestación, anuales/perennes cultivos, el cultivo de arroz, pastos, suelos orgánicos, ganado, insumos, otras inversiones, y cálculo de equilibrio de carbono con y sin el proyecto utilizando los valores por defecto del IPCC, al modelar a GEOSA en esta herramienta resultaron emisiones de 413,663 toneladas de CO₂ anualmente, muy similar a las 446,955.19 tn anuales de CO₂ calculadas con GEMIS, lo cual reafirma la validez de los resultados del presente trabajo de investigación.

RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo representan un paso importante en la cuantificación e internalización de los costos ambientales, sin embargo como todo estudio presenta debilidades que deben mejorarse, lo cual en esta sección no fue posible debido a lo limitado de los recursos y de la información disponible en cuanto a las enfermedades respiratorias y el gasto público para paliar este tipo de enfermedades, por otro lado se requiere de una investigación más profunda para identificar si es posible, el verdadero nivel de incidencia de los efectos del proceso de generación de planta sobre la salud humana.

Para la cuantificación real del gasto público en las enfermedades causadas por los impactos ambientales producidos por la generación de GEOSA se requiere de revisión de los registros médicos del puesto de salud local, a fin de conocer el número de asistencia de la población al médico por estas afecciones, así como cuantificar la cantidad y el costo de cada uno de los medicamentos entregados a cada poblador, sin olvidar además los honorarios del médico, el mantenimiento del local, el salario del resto del personal del centro de salud involucrado entre otros aspectos, una investigación de esa magnitud requiere de muchos recursos por lo alejado de la zona, debido a lo antes expuesto es que se decidió utilizar los datos integrados en el GEMIS.

Lo anterior se debe a que los datos contenidos en el software, están referenciados al nivel de afectación en la población y al gasto público en Europa, a pesar de esto los resultados mantienen validez, porque se consideró como el peor de los escenarios, es decir la cantidad máxima que el gobierno municipal podría desembolsar para cubrir el gasto por las enfermedades en los pobladores causadas por el impacto en el medio ambiente tanto por la emisión de cenizas como de gases de efecto invernadero, es decir que se consideran estos resultados como el costo más alto al que se podría cuantificar este impacto.

Considerando la relevancia de este tema se recomienda ampliar la investigación hacia las demás centrales térmicas que generan energía eléctrica haciendo uso de combustibles fósiles, así como en los proyectos propuestos por los inversores a fin de conocer el costo de operación real de cada central conectada o propuesta a ser conectada al Sistema Interconectado Nacional.

CONCLUSIONES

De conformidad a la valoración realizada en el presente trabajo de investigación se evidenciaron las siguientes conclusiones:

- Se cuantificaron los impactos ambientales producidos por el proceso de generación de GEOSA encontrándose que esta emite los siguientes gases de efecto invernadero: 446,955.19 de CO₂, 24.51 de CH₄, 0.43 de N₂O, asimismo registra emisiones aéreas de SO₂ de 7,049.04, 44.78 de NO_x, 0.07 de HCL, 0.01 de HF, 68.83 de material particulado, 26.27 de CO, 50.85 de NMVOC, 4.53E-9 de H₂S y 0.183 de NH₃, todos estos valores expresados en toneladas al año, en cuanto a los residuos sólidos se contabilizan 467.74tn de ceniza, 395.13tn de DGC, 85.95tn de espuma de aguas residuales, 225.21tn de residuos de producción, 6,944.83tn de recubierto, 0.0079tn de pérdidas de combustible nuclear.
- Se cuantificaron las afectaciones sobre la salud humana causados por la generación de energía de GEOSA encontrando que para el nivel de generación descrito en la planta resultan un total de 1,815 personas afectadas al año ya sea de forma directa o indirecta, la afectación directa es a un número de 71 personas.
- Se analizaron los diversos instrumentos económicos planteados por la bibliografía consultada para la internalización de los efectos al medio ambiente, seleccionando para este estudio de caso el método de monetización, porque permite ajustar el precio de la energía producida.
- Se cuantificaron las externalidades y es posible internalizar los efectos ambientales y sobre la salud humana causados por el proceso de generación de GEOSA, incorporándolos al costo variable de la unidad, sin embargo este mecanismo de

internalización podría ser usado para transferir esta responsabilidad únicamente a los usuarios finales de la energía, puesto que con este costo la unidad participa en el proceso del despacho económico elaborado diariamente por el operador de mercado, a fin de definir la cantidad de energía que aportara cada generador.

- Se estudió el comportamiento de generación de la planta y se calculó su costo ambiental anual en 51,310,914.55US\$, incorporando este al costo variable de la unidad, el cual para el 2012 resulto en 204.47US\$/MWH en promedio, mismo que al agregar los costos ambientales se incrementa a 328.81US\$/MWH.
- En base a los resultados obtenidos se plantea entonces como opción más viable para la internalización de los costos ambientales, incluir este en el precio de energía de la planta o en su defecto se puede crear un impuesto que estaría dado de conformidad a la cantidad de energía generada por la central, lo recaudado estaría siendo entregado al gobierno municipal, con el objetivo final que dicha cantidad sea invertida en la adquisición de medicinas para contrarrestar las enfermedades causadas por la actividad de la central y para la arborización de la zona.

BIBLIOGRAFIA

1. Azqueta, D. 2007. Introducción a la Economía ambiental .2a Edición. España. Mc Graw Hill. 493p
2. Bernoux M; Tinlot M; Bockel L; Branca G; Gentien A.2011. EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT) Technical Guidelines for Versión 3.Documento consultado el día 01 de Noviembre del año 2012. Disponible en página web: <http://www.fao.org/tc/exact/ex-act-home/en/>
3. Bickel, P y Rainer, F. 2005. Externalities of Energy, Methodology. Institut Fur Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung-IER, Universidad stuttgart ExternE, Germany, 2005
4. Cristeche, E y Penna, J. 2008. Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires-Argentina: Disponible en página web <http://www.iai.int/files/LaterraJobbagyParueloValorEcosyst.pdf>.
5. Comisión Nacional de la Energía.2005. Plan indicativo de la generación del sector eléctrico periodo 2005 – 2016. Documento consultado el día 05 de Septiembre del año 2012. Disponible en: http://www.ine.gob.ni/DGE/mercado/Plan_Indicativo_2005.pdf
6. International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS) .2012. sitio web consultado el día 17 de Febrero del año 2013. Disponible en página web: <http://www.iinas.org/about.html>
7. Fritsche, U. y Schmidt, K. 2008. Global Emission Model of Integrated Systems (GEMIS). Documento consultado el día 17 de Febrero del año 2013. Disponible en página web: <http://www.oeko.de/www.gemis.de>
8. Rodolfo, Jaen. 2008. Informe sobre análisis de residuos de Hidrocarburos y policloruros bifenilos en muestras de agua, Managua. Universidad Nacional de Ingeniería, Centro de Investigación y Docencia en Medio Ambiente, Laboratorio de Cromatografía de Gases.

9. Instituto Nicaragüense de Energía. INE. Capacidad instalada. Documento consultado el día 22 de Febrero del año 2013. Disponible en: [http://www.ine.gob.ni/DGE/estadisticas/serieHistorica/Capacidad Instalada 91-11.pdf](http://www.ine.gob.ni/DGE/estadisticas/serieHistorica/Capacidad%20Instalada%2091-11.pdf)
10. European Commission. 2006. *External Costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*. Obtenido el día 19 de Marzo del año 2013 desde: http://www.externe.info/externe_2006/externpr.pdf
11. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL. 2004. Evaluación de las externalidades ambientales de la generación termoeléctrica en México. Obtenido el día 18 de Marzo del año 2013 desde: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/32216/L644-1.pdf>
12. Octaviano, Claudia. 2011. Análisis general de las externalidades ambientales derivadas de la utilización de combustibles fósiles en la industria eléctrica. Centroamericana, Comisión Económica para América Latina. Obtenido el día 18 Marzo del año 2012 desde http://www.eclac.org/publicaciones/xml/4/42054/2010-81-L983-Ext_Amb.pdf
13. Turtós, L. 2003. Revisión de metodologías utilizadas para la estimación de las externalidades. Obtenido el día 17 de Marzo del año 2013 desde: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/4/12474/lcmexl556e-1.pdf>

ANEXOS

Fig. No.1: Definición del tipo de combustible utilizado en la central termoeléctrica

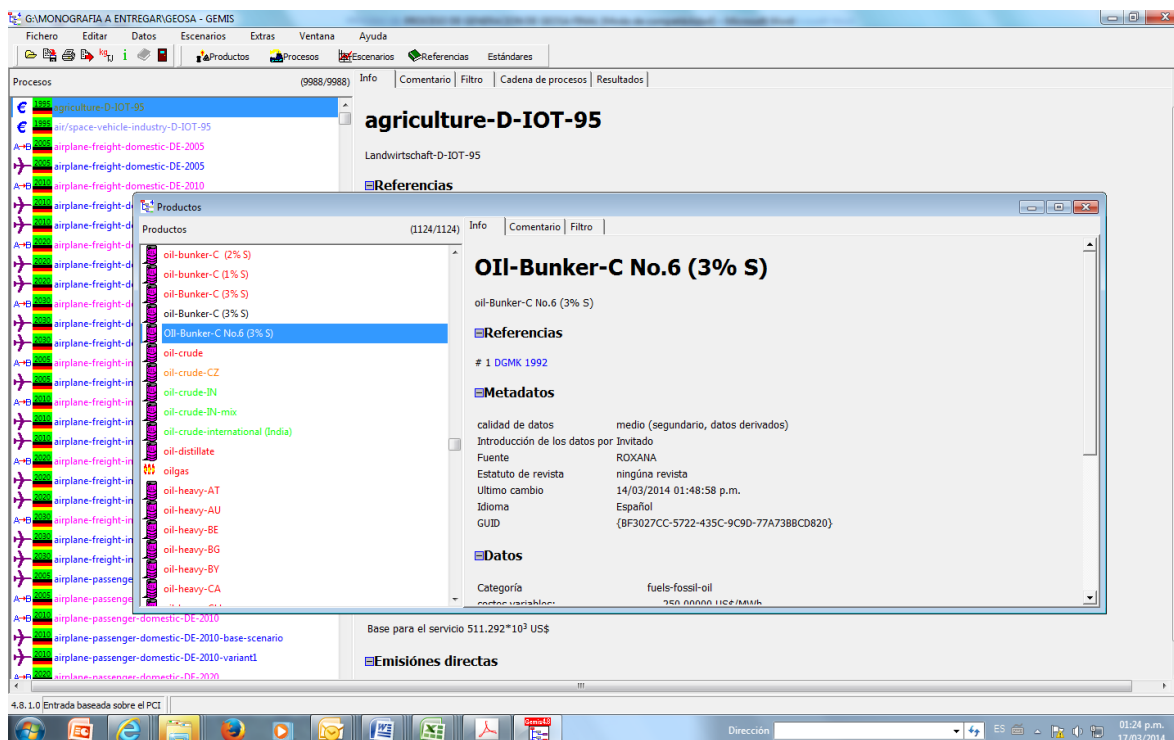
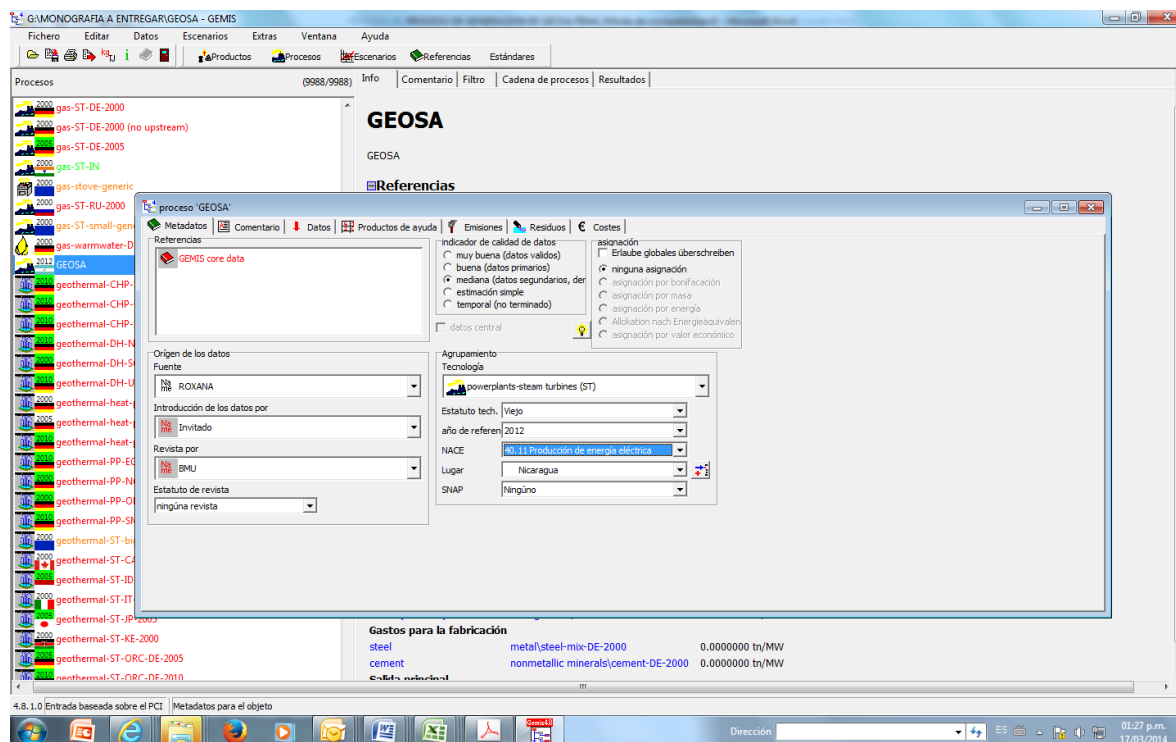
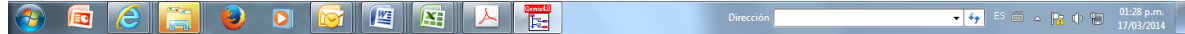


Fig. No.2: Definición de las características de la central termoeléctrica a modelar





Resultados:

Fig. No.4: Tabla de gases de efecto Invernadero

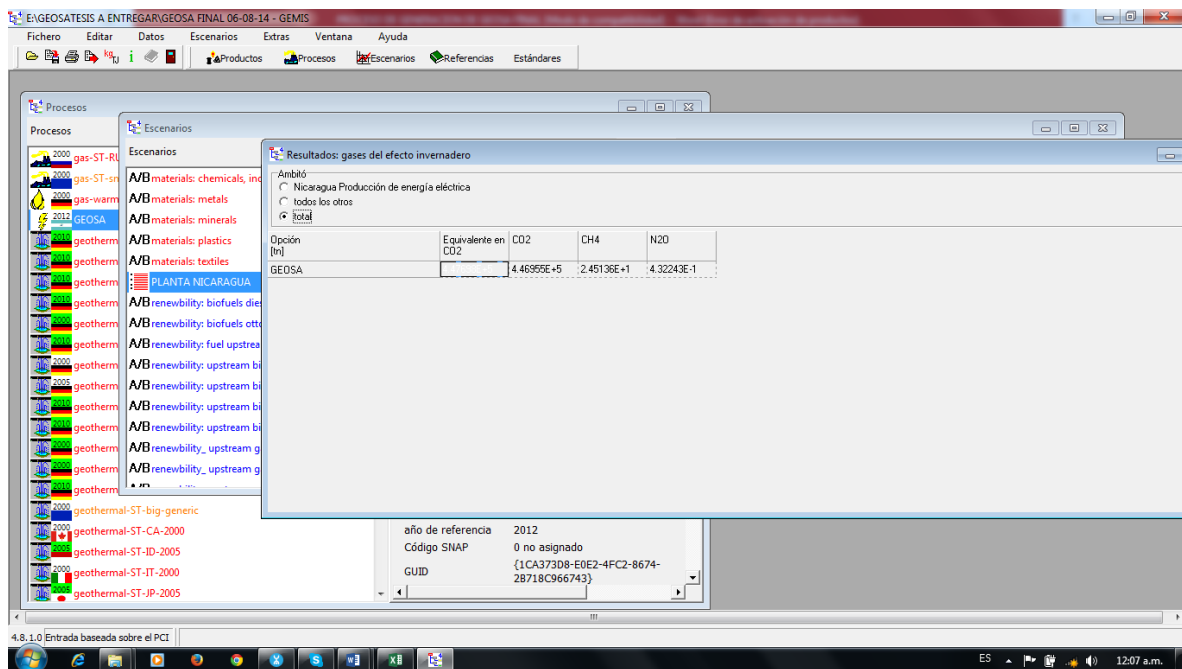


Fig. No.5: Tabla emisiones atmosféricas

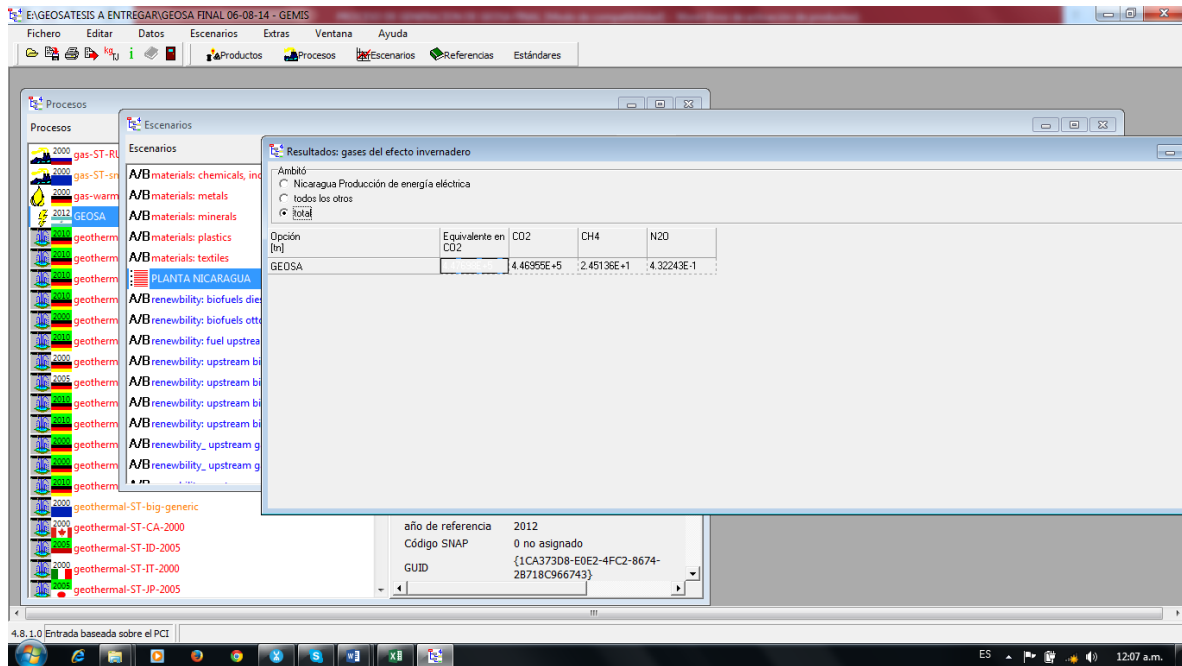


Fig. No.6: Tabla de residuos sólidos

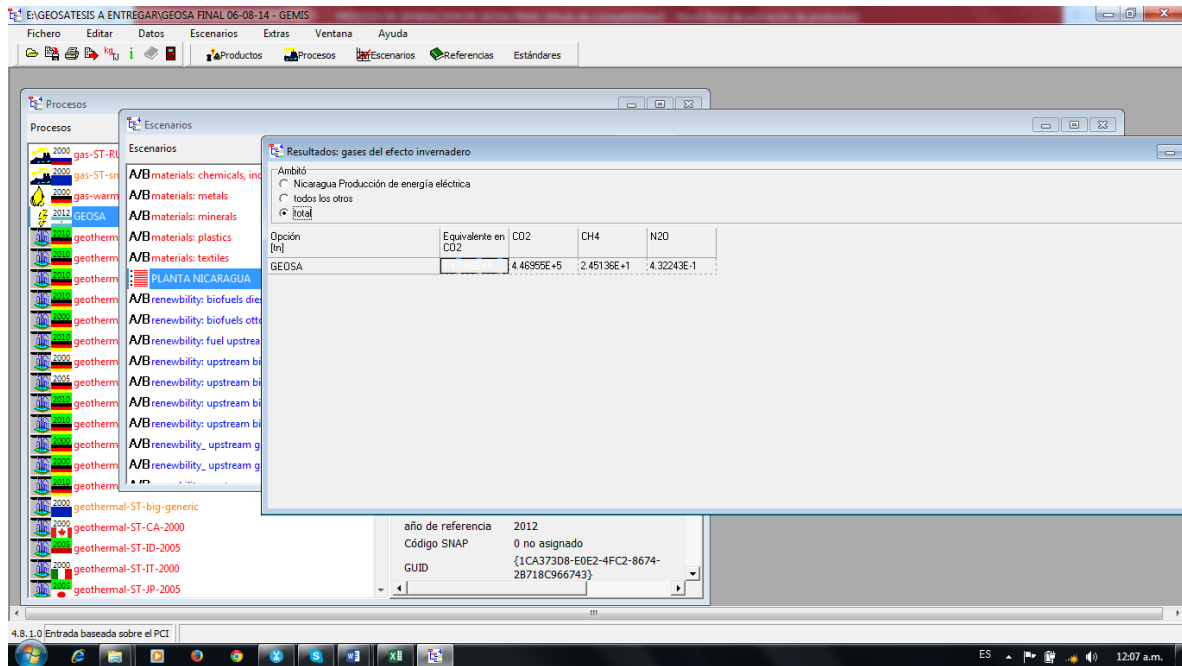


Fig. No.7: Tabla de efectos sobre el empleo

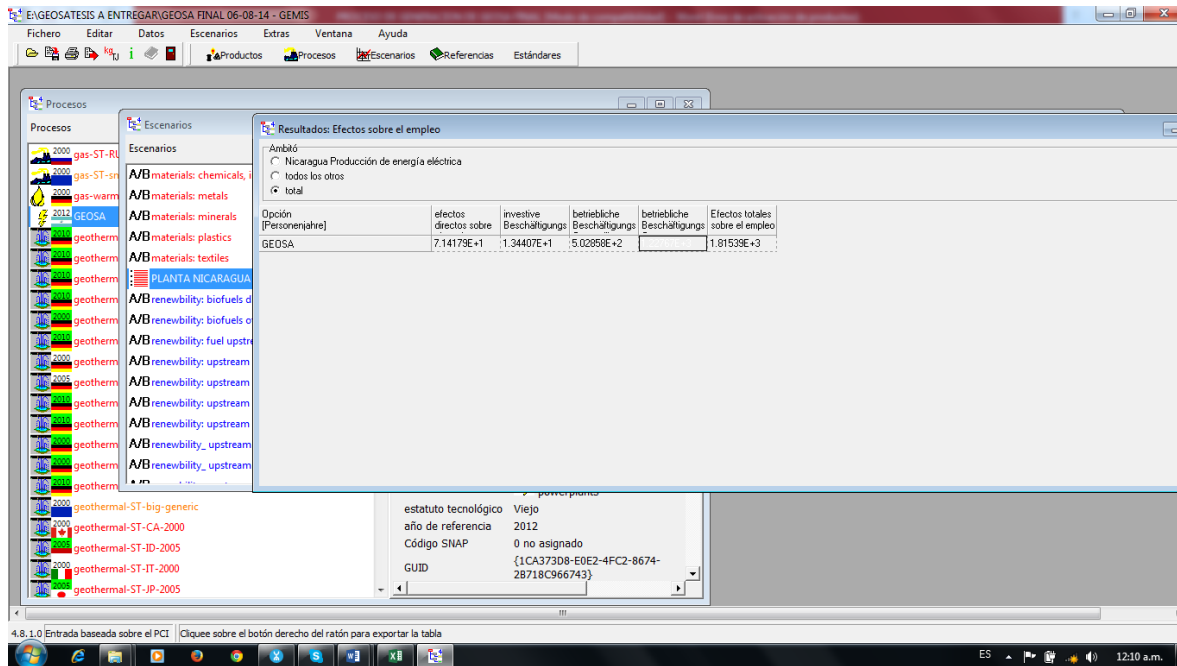


Fig. No.8: Tabla de residuos líquidos

Resultados: Residuos líquidos

Ámbito:

- ☐ Nicaragua Producción de energía eléctrica
- ☐ todos los otros
- ☒ total

Opción (tn)	P	N	AOX	DGO	DBO5	sales inorg.	As (liquid)	Cd (liquid)	Cr (liquid)	Cu (liquid)	fats (effluent)	Hg (liquid)	Ni (liquid)	PAH (liquid)	Pb (liquid)	PCDD/F (liquid)	Zn (liquid)
GEOSA	2.05933E-5	3.95296E-4	4.59694E-6	1.51474E+1	4.25003E-1	5.93802E-2	1.29305E-10	3.15825E-10	3.12392E-10	0	0	1.57912E-10	0	2.0597E-10	0	0	0

4.8.1.0 Entrada basada sobre el PCI. Cliquee sobre el botón derecho del ratón para exportar la tabla.